

Моделирование количества случаев заболевания COVID-19 в Санкт-Петербурге в период 2020–2022 гг.

П. В. Герасименко

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 190031, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9

Аннотация

Введение. Выполнено построение математических моделей изменения суммарного и суточного количества случаев заболеваний коронавирусом населения Санкт-Петербурга в различные отрезки и период с 2020 по 2022 г.

Цель. Актуальность исследования продиктована ситуацией распространения коронавируса в городе и необходимостью разработки методического аппарата по краткосрочному оперативному оцениванию изменения и прогнозирования ключевых показателей. Решение задачи проводилось на основе рассмотрения складывающейся ситуации протекания коронавируса в Санкт-Петербурге, для чего с помощью моделирования выполнено развитие его по суммарному (интегральному) и суточному (дифференциальному) числу заболевания жителей региона.

Методы. Для исследования характера развития пандемии проведено математическое моделирование динамики ключевых показателей распространения эпидемии коронавируса и показана возможность проводить оценку кратковременного прогноза. Моделирование проведено с помощью временных рядов и регрессионного анализа. Построение моделей проведено на основе статистических данных, которые формируются путем мониторинга координационными советами по борьбе с распространением COVID-19 в регионах и в стране.

Результаты. Предложен подход и математический аппарат моделирования и прогнозирования динамики региональных ключевых показателей распространения пандемии в регионах России.

Практическая значимость. Предлагаемое решение задачи даст возможность администрации и органам здравоохранения получать краткосрочную информацию для оценивания и корректирования своей работы по созданию оптимальных экономических и социальных условий жизни жителей регионов России.

Ключевые слова: пандемия, COVID-19, модель, коронавирус, прогноз, математическое моделирование, региональные центры.

Для цитирования: Герасименко, П. В. Моделирование количества случаев заболевания коронавирусом COVID-19 в Санкт-Петербурге в период 2020–2022 гг. – 2022. – Т. 3. – № 3. – С. 30–38 doi:10.47619/2713-2617.zm.2022.v.3i3;30–38

Modeling the number of COVID-19 cases in St. Petersburg in the period 2020–2022

P. V. Gerasimenko

Federal State Budget Educational Institution for Higher Education «Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University»,
190031, 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Introduction. The construction of mathematical models of changes in the total and daily amounts of the coronavirus of the population of St. Petersburg in various segments and the period from 2020 to 2022. The need for research is dictated by the presence of a dysfunctional situation in the city, as well as the need to develop a methodological apparatus for short-term operational assessment of changes and forecasting of key indicators of the spread of coronavirus.

Purpose. To assess the change in the total and daily indicators of coronavirus disease in the population of St. Petersburg in the periods May-August 2020 and 2021 and to carry out a short-term forecast.

Methods. The solution of the problem was carried out by modeling and performing short-term prediction of the folding situation of coronavirus in St. Petersburg by the total (integral) and daily (differential) number of diseases in the region. Modelling is based on statistics that are generated through monitoring by coordinating councils to combat the spread of COVID-19 in regions and in the country.

Results. An approach and mathematical apparatus for modeling and forecasting the dynamics of regional key indicators of the spread of the pandemic in the regions of Russia are proposed.

Practical relevance. The proposed solution to the problem will enable the administration and health authorities to receive scientific information for evaluating and adjusting their work to create normal economic and social living conditions for residents of Russian regions.

Keywords: pandemic, COVID-19, model, coronavirus, forecast, mathematical modeling, regional centers.

For citation: Gerasimenko PV, Modeling the number of cases of COVID-19 coronavirus in St. Petersburg in the period 2020–2022. City Healthcare. 2022;3(3):30–38 doi:10.47619/2713-2617.zm.2022.v.3i3;30–38

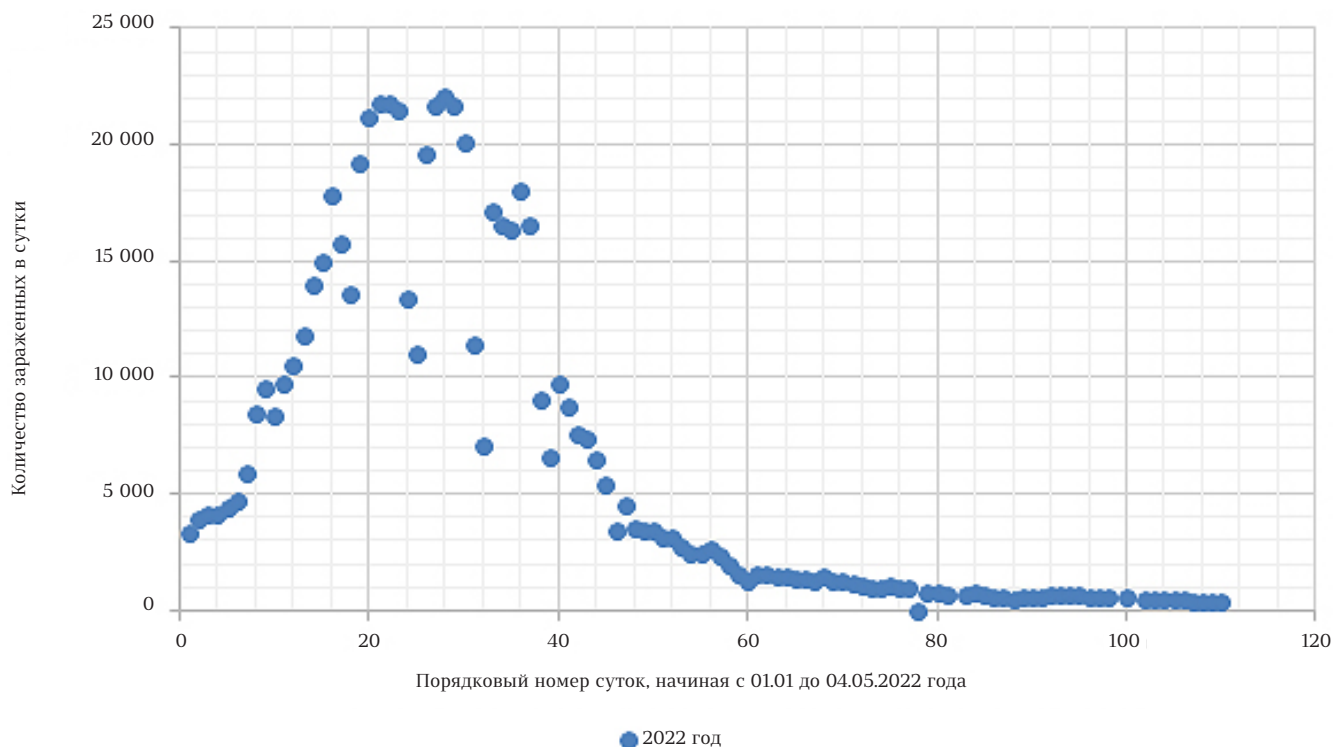
Введение

Современный мир ощущает огромное воздействие пандемии COVID-19 на все стороны его жизни. Нет такой области, которую бы она не затронула. Пандемия оказала небывалое воздействие на население мира, на развитие мировой экономики. Существенно выросли

финансовые риски и риски в области здоровья населения.

Согласно наблюдениям, в 2020 г. пришло две волны, в 2021 г. – три, а в начале 2022 г. – наиболее сильная шестая волна пандемии. Максимальный суточный уровень шестой волны в Санкт-Петербурге достигал около 22 тыс. человек (рис. 1).

Рисунок 1. – Развитие суточного количества заражений коронавирусом в Санкт-Петербурге с 01.01.2022 по 04.05.2022.
Figure 1 – Development of the daily number of coronavirus infections in St. Petersburg from 01.01.2022 to 04.05.2022.



В России с начала августа 2022 г. число подтвержденных случаев заражения коронавирусом возросло и составляет за сутки: в Москве – 9 414, в Санкт-Петербурге – 4 406, в Московской области – 2 114, в Нижегородской – 580, в Свердловской – 807, в Воронежской – 706 [1]. Если сравнить с числом случаев заражения коронавирусом в августе 2021 года, то в Москве за сутки выявили 2 484 случая, в Санкт-Петербурге – 1 911, в Московской области – 1 658, в Нижегородской – 535, в Свердловской – 520, в Воронежской – 486 [2].

Суммарное число случаев заражения коронавирусом COVID-19 на 24.08.2022 в Санкт-Петербурге составило 1 630 498. Это составляет 0,27 % от общего количества зараженных в мире и 8,7 % от общего числа зараженных в РФ. Суточное отношение количества заболевших в Санкт-Петербурге к числу заболевших в РФ равно 8,3 %.

К сожалению, на сегодня в Санкт-Петербурге погибло уже 34 590 человек, летальность

составляет 2,12 %. Полностью вылечили от вируса 1 559 703 человека (95,66 %) [3].

Анализ приведенных показателей позволяет заключить, что в Санкт-Петербурге и в целом по стране складывается трудная ситуация. По мнению ученых, существует три самых эффективных способа борьбы с эпидемией: социальные ограничения, ношение масок и вакцинация. К сожалению, маски в стране многие носить отказываются, а вакцинируются пока с большим трудом. Несмотря на невысокий уровень вакцинации и отказ части населения от ношения масок, государство позволяет снимать социальные ограничения в регионе, поскольку этого требует экономика. Развитие ситуации приводит к росту числа больных коронавирусом, в том числе по возвращении из отпусков.

Поэтому требуется усиление мер, направленных на ношение масок и вакцинацию, для чего необходимо регулярно просвещать население научной доказательной информацией, а не

различными домыслами через телевизионные, интернет- и другие каналы. Для этого следует тщательно отслеживать и проводить прогноз ключевых показателей эпидемической ситуации с помощью моделирования ее динамики.

В настоящее время в стране разрабатываются и принимаются различные меры, направленные на сохранение человеческого ресурса и здоровья населения как основного фактора обеспечения безрисковой или сопряженной с минимальными рисками экономики. Исходными данными являются фиксируемые процессы распространения эпидемии коронавируса COVID-19, которые количественно характеризуются текущими значениями ключевых показателей.

Цель

Работа направлена на обоснование необходимости усиления борьбы с пандемией и на целенаправленное ее исследование в регионах. Предложить подход оперативного оценивания ключевых показателей развития пандемии по статистическим данным наблюдаемого процесса, а на его основе провести апробацию по оценке

и краткосрочному прогнозу развития заболевания коронавирусом в Санкт-Петербурге.

Обсуждение и результаты

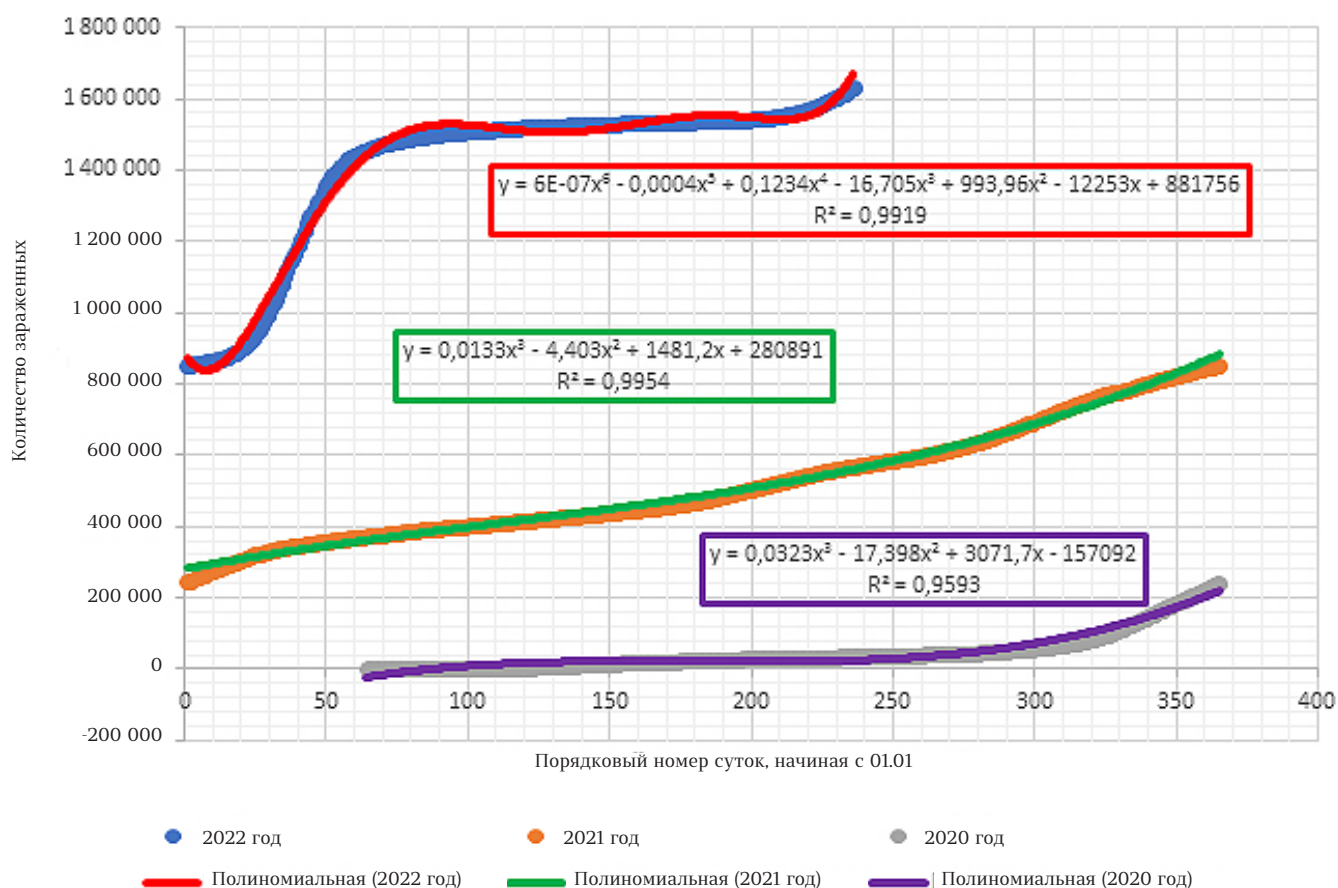
Моделирование динамики суммарного количества пораженных COVID-19

В мире процесс распространения пандемии COVID-19 сопровождается одновременно и борьбой с распространением вируса, и активным его изучением, для чего проводится разработка математических моделей, способных предсказать его поведение с учетом характера заболевания. Сегодня в мире разработанные ранее модели, ориентированные на другие инфекционные заболевания, были дополнены и развиты применительно к эпидемии COVID-19 [4–11].

Используя математический аппарат [11], выполнено исследование динамики изменения количества зараженных коронавирусом в Санкт-Петербурге в период с 06 мая 2020 г. по 24 августа 2022 г. На рис. 2 представлены графики статистических данных (опытных) суммарного (интегрального) количества заболевших в городе.

Рисунок 2 – Графики и теоретические полиномиальные зависимости интегральных опытных количеств случаев заболеваний коронавирусом в 2020, 2021 и в 2022 гг. в Санкт-Петербурге.

Figure 2 – Graphs and theoretical polynomial dependencies of the integral experimental numbers of coronavirus cases in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg.



Весь исследуемый период был разбит на три участка, за каждым из которых закреплен год исследования. Кроме того, на рис. 2 приведены математические модели в виде аналитических полиномиальных функций регрессии. На первом участке, который соответствует 2020 г. с интервалом от 10 марта до конца года, развитие заболевания проходило с наименьшей интенсивностью. Число заболевших за время развития коронавируса превысило немногим 200 тыс. Значительно изменился суточный прирост случаев заболевания в 2021 г. Интегрально он увеличился – свыше 800 тыс. Для начала 2022 г. показательна существенная скорость роста суммарного количества заболеваний, которая охарактеризовала шестую волну развития пандемии. В 2022 г. практически до конца августа интегральное количество заболевших в городе Санкт-Петербурге составило более 1 млн 600 тыс.

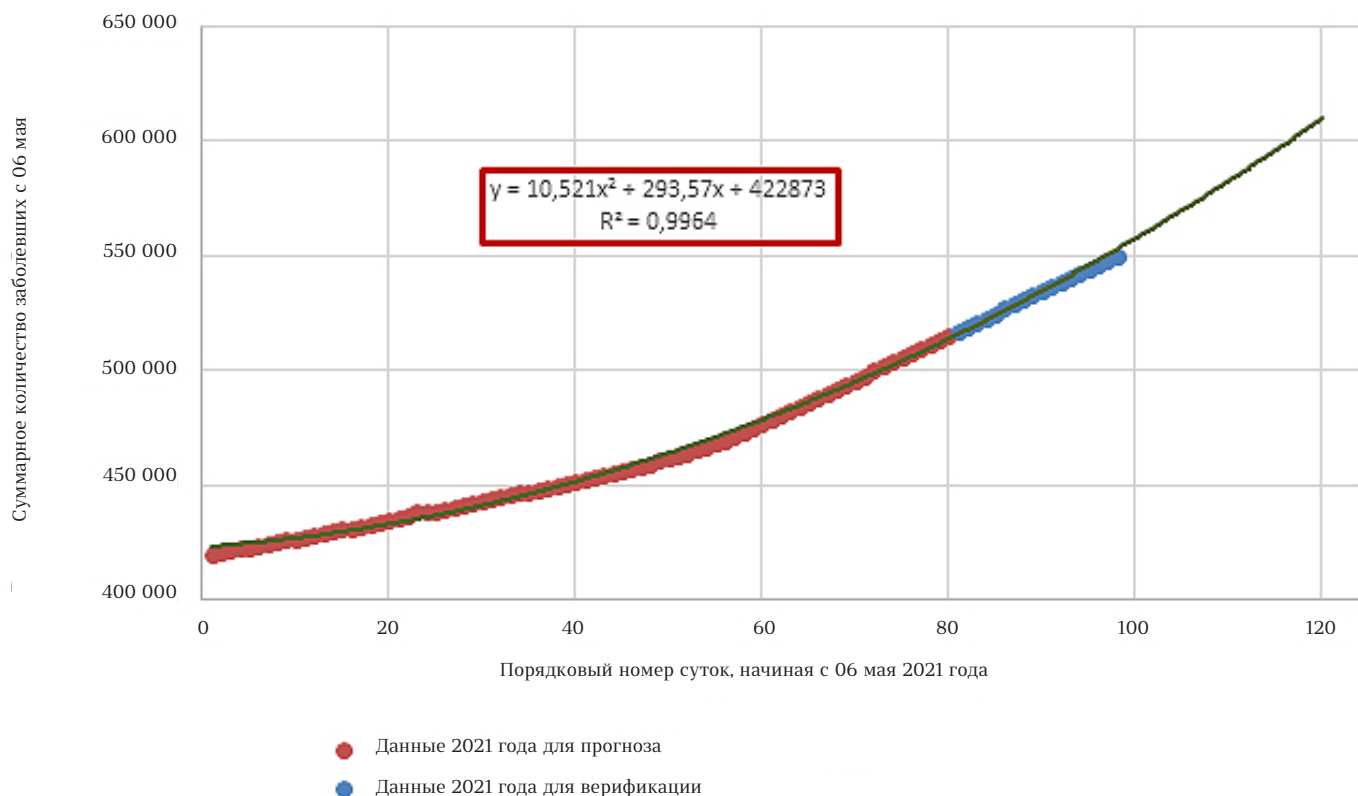
Как отмечалось, при построении моделей использован математический аппарат [11],

с помощью которого продемонстрировано распространение COVID-19 в Санкт-Петербурге с марта 2020 г. по август 2022 г. Аппарат позволил строить достаточно адекватные модели, позволяющие краткосрочно прогнозировать распространение пандемии. Коэффициент детерминации для всех регрессий превышает 0,95. Для описания процесса развития пандемии рекомендовано использовать временные ряды (динамические ряды) и регрессионный анализ. При этом принято допущение, что ряды являются стационарными, соответственно их свойства не зависят от момента времени [12]. Возможность такого допущения была подтверждена на основании построенных коррелограмм [13].

Используя регрессионную модель, на рис. 3 приведены график и регрессионная функция изменения суммарного числа заболевших в Санкт-Петербурге с 06 мая до 24 июля 2021 г. и график прогнозной зависимости с 25 июля по 02 сентября 2021 г.

Рисунок 3 – Графики интегральной квадратичной зависимости числа заболеваний коронавирусом, построенные по опытным данным с 06.05.2021 до 24.07.2021, и продленные прогнозные теоретические с 25.07.2021 по 02.09.2021.

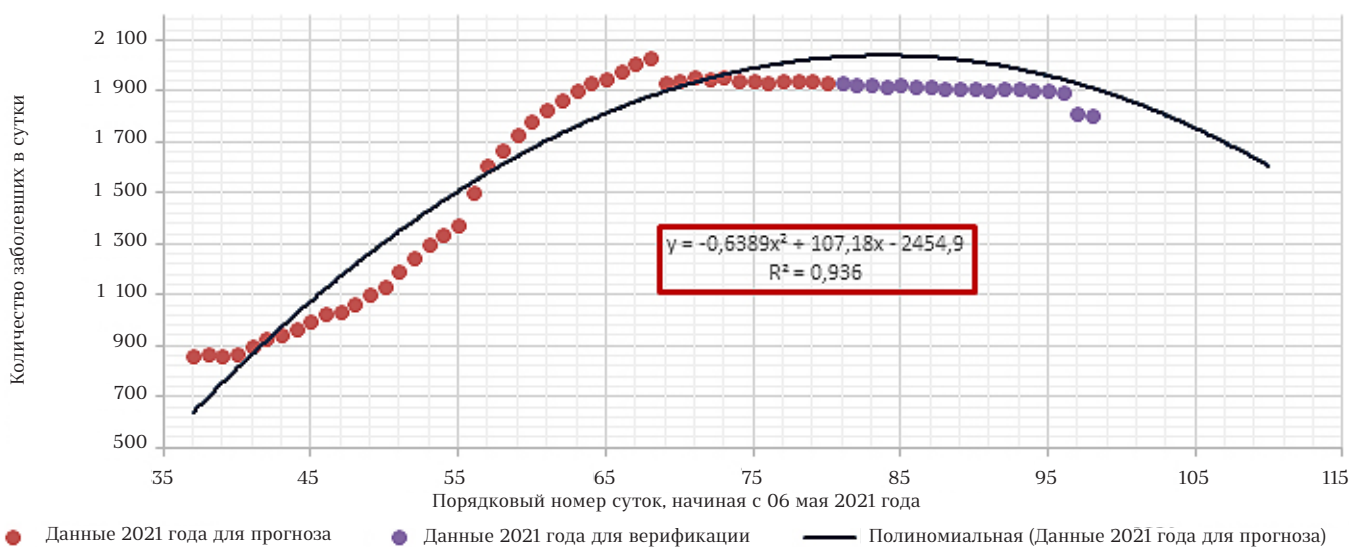
Figure 3 – Graphs of the integral quadratic dependence of the number of cases of coronavirus, built according to experimental data from 06.05.2021 to 24.07.2021 and extended predictive theoretical from 02.09.2021 to 02.09.2021.



Краткосрочный прогноз выполнен по математической модели развития пандемии, построенной по интегральным опытным данным с 06 мая по 24 июля 2021 г. Из представленного на рисунке графика видно, что прогнозная кривая проходит через опытные данные. Максимальная относительная погрешность между опытными данными и результатом прогнозной квадратичной регрессионной зависимости составляет 0,57 %. Это свидетельствует о высокой достоверности результатов краткосрочного прогнозирования интегральных показателей с помощью регрессионных моделей.

Рисунок 4 – Опытные данные и график дифференциальной зависимости количества заболеваний коронавирусом: опытные данные с 06.05.2021 до 24.07.2021 и прогнозная теоретическая по 23.08.2021.

Figure 4 – Experimental data and a graph of the differential dependence of the number of cases of coronavirus: experimental data from May 06 to July 24, 2021 and predictive theoretical until August 23, 2021.



Прогноз выполнен с горизонтом в 30 суток. На рис. 4 также представлены опытные данные с 25 июля по 11 августа 2021 г., которые рассмотрены как верификационные. Выполненный анализ относительной погрешности краткосрочного прогноза показал, что в сравнении с прогнозом интегрального показателя ее величина выше и составляет 6,6 %.

Следует отметить высокое значение коэффициента детерминации модели, по которой построена прогнозная кривая. Его величина приведена на графике. Она составляет 0,936, что

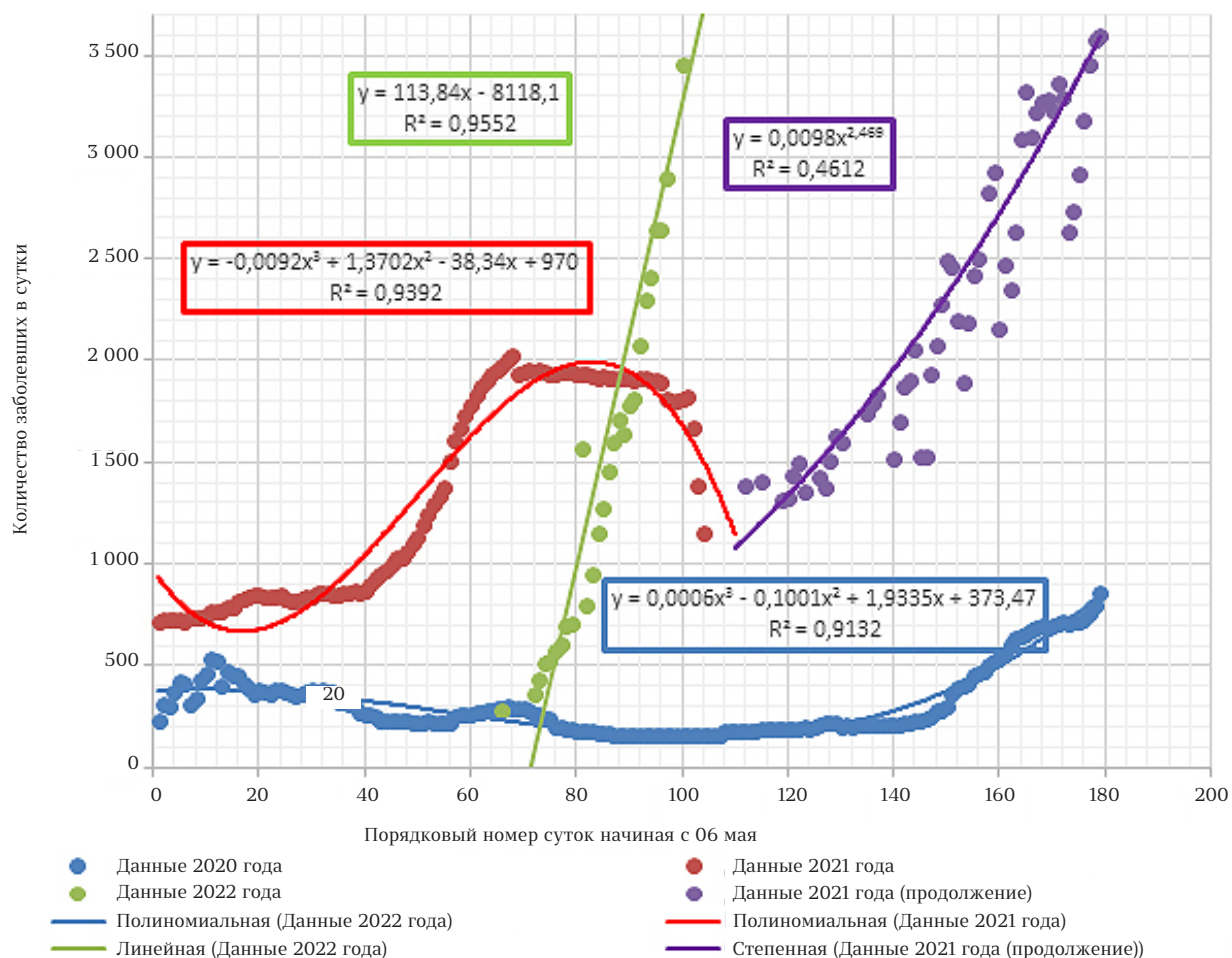
Моделирование динамики суточного количества пораженных коронавирусом COVID-19

Вторым не менее важным показателем развития пандемии является дифференциальный (суточный) показатель заболевания коронавирусом. На рис. 4 представлены суточные опытные данные заболевания жителей города с 06 мая до 24 июля 2021 г., по которым построены регрессионная модель и прогнозный график количества случаев заболевания коронавирусом.

может свидетельствовать о достаточно высоком качестве краткосрочного прогноза с помощью регрессионных зависимостей по статистическим данным. Прогнозные данные необходимо в реальном времени сравнивать с опытными и при превышении допустимой ошибки корректировать модель.

На рис. 5 даны опытные данные и теоретические регрессионные типы математических моделей, представляющие зависимости на отдельных временных отрезках значения числа заболевших жителей Санкт-Петербурга в 2020, 2021 и 2022 гг.

Рисунок 5 – Суточные (дифференциальные) зависимости заболевших коронавирусом в 2020, 2021 и 2022 гг. в Санкт-Петербурге.
Figure 5 – Daily (differential) dependencies of coronavirus cases in 2020, 2021 and 2022 in St. Petersburg.



Из рисунка видно, что с мая 2020 г. суточная заболеваемость имела близкий порядок и составляла от 300 до 800 человек включительно. В мае 2021 г. она сохраняла величину от 700 до 800 человек. С конца мая 2021 г. количество заболевших начало расти и к концу июля составило порядка 2000 человек. Таким образом, спустя год суточное количество заболевших коронавирусом увеличилось в 6 раз. Значительно более резкий рост проходил в 2022 г. и составил с 18 июля до 14 августа 2022 г. 4 000 человек. Существенный рост суточных заболеваний жителей Санкт-Петербурга в эти годы привел к существенному увеличению интегрального (суммарного) показателя заболеваемости. Так, на 24 августа 2022 г. число заболевших коронавирусом составляло 1 630 498 человек.

Заключение

Сегодня статистические данные развития коронавируса в регионе доступны каждому жителю. Однако они недостаточно информативны для принятия в области поведенческого решения

в возникающих условиях распространения пандемии. Вместе с тем с населением необходимо проводить информирование и образование в части, касающейся мероприятий безопасности и сохранения здоровья, что позволит людям принимать правильные решения по предлагаемым рекомендациям их поведения.

В настоящее время разрозненное изучение пандемии и мероприятий, проводимых в регионах отдельными научными организациями разного профиля, административными и медицинскими учреждениями, продолжает играть важную роль в обеспечении здоровой жизни населения и экономики региона и требует сосредоточения целенаправленных усилий на борьбу в регионах с пандемией из единых центров. Решение отмеченной проблемы возможно только при условии целенаправленной борьбы в отдельных регионах в прочной взаимной связи с другими регионами.

Моделирование распространения пандемии и ее долгосрочное прогнозирование – одна из сложнейших научно-технических задач. Ее эффективное решение возможно лишь посредством высоких технологий.

В России имеются основные компоненты таких технологий, базирующиеся на современной системе телекоммуникаций и высокопроизводительный вычислительный технике.

Необходимо направить усилия на создание электронных информационных центров, которые будут регулярно проводить математическое моделирование и прогнозирование динамики региональных ключевых показателей распространения пандемий и эпидемий в регионах России, в других странах, и доводить через средства массовой информации до населения квалифицированные профессиональные доказательные методы борьбы с пандемией.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Финансирование: исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Funding: the study had no sponsorship.

Список литературы

1. Проект доступа к актуальным и достоверным данным из официальных источников о распространении коронавируса COVID-19 в России и Море. «Коронавирус в Санкт-Петербурге сегодня» <https://coronavirus-control.ru/coronavirus-saint-petersburg> (дата обращения: 25.08.2022).

2. Российская газета. «Мурашко перечислил регионы с самой сложной обстановкой из-за COVID-19». Электронная статья от 5 августа 2021 г. <https://news.mail.ru/society/47409073/> (дата обращения: 05.08.2021).

3. АиФ Санкт-Петербург. «Три дня подряд в Петербурге увеличивается число госпитализированных с COVID». Электронная новость <https://news.mail.ru/society/47415497/> (дата обращения: 05.08.2021).

4. Матвеев А. В. Математическое моделирование оценки эффективности мер против распространения эпидемии COVID-19 // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2020. – № 1 (29). – С. 23–39.

5. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions // *Computation Mathematics*. – 2020. – Vol. 7. – P. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047

6. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19: A mathematical modelling study in the case of Ethiopia / B.A. Ejigu, M.D. Asfaw, L. Cavalerie, T. Abebaw, M. Nanyingi, M. Baylis // *medRxiv*. – 2020. – P. 30. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746

7. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics / B. Gross, Z. Zheng, S. Liu, X. Chen, A. Sela, J. Li, D. Li, S. Havlin // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 9. – P. 6. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517

8. Yesilkanat C.M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm // *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2020. – Vol. 140. – P. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210

9. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China / J.S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, N.A. Christakis // *Nature*. – 2020. – Vol. 582. – P. 389–394.

10. Пространственно-временное моделирование эпидемии COVID-19 / В. Л. Соколовский, Г. Б. Фурман, Д. А. Полянская, Е. Г. Фурман // *Анализ риска здоровью*. – 2021. – № 1. – С. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03

11. Герасименко П. В. Моделирование и прогнозирование показателей динамики заболевания жителей регионов коронавирусом COVID-19 / П. В. Герасименко // *Транспортные системы и технологии*. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 88–97. doi: 10.17816/transsyst20206488-97

12. Вертешев С. М., Герасименко П. В., Лехин С. Н. Роль математики и информатики в подготовке инженеров для инновационной деятельности // *Перспективы развития высшей школы: материалы X Международной научно-методической конференции*. – Гродно: ГГАУ, 2017 г. – С. 223–226.

13. Герасименко П. В., Ходаковский В. А. Введение в эконометрику. Учебное пособие. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2005. – 60 с. .

14. Статистика распространения коронавируса (COVID-19). Онлайн-сервис <https://coronavirus-tracking.ru/> (дата обращения: 20.08.2022)

References

1. Project of access to up-to-date and reliable data from official sources on the spread of the coronavirus COVID-19 in Russia and the World. "Coronavirus in St. Petersburg today" <https://coronavirus-control.ru/coronavirus-saint-petersburg> (Accessed 08/25/2022).

2. Russian newspaper. "Murashko listed the regions with the most difficult situation due to COVID-19." Electronic article dated August 5, 2021 <https://news.mail.ru/society/47409073/> (date of access: 08/05/2021).

3. AiF St. Petersburg. "Three days in a row in St. Petersburg the number of hospitalized with COVID is increasing." Email news <https://news.mail.ru/society/47415497/> (date of access: 08/05/2021).

4. Matveev A.V. Mathematical modeling of evaluating the effectiveness of measures against the spread of the COVID-19 epidemic // *National Security and Strategic Planning*. – 2020. – No. 1 (29). – P. 23–39.

5. Linka K., Peirlinck M., Kuhl E. The reproduction number of COVID-19 and its correlation with public health interventions // *Computation Mathematics*. – 2020. – Vol. 7. – P. 1035–1050. DOI: 10.1101/2020.05.01.20088047

6. Assessing the impact of non-pharmaceutical interventions (NPI) on the dynamics of COVID-19: A mathematical modeling study in the case of Ethiopia / B. A. Ejigu, M.D. Asfaw, L. Cavalerie, T. Abebaw, M. Nanyingi, M. Baylis // *medRxiv*. – 2020. – P. 30. DOI: 10.1101/2020.11.16.20231746

7. Spatio-temporal propagation of COVID-19 pandemics / B. Gross, Z. Zheng, S. Liu, X. Chen, A. Sela, J. Li, D. Li, S. Havlin // *medRxiv*. – 2020. – Vol. 9. – P. 6. DOI: 10.1101/2020.03.23.20041517

8. Yesilkanat C. M. Spatio-temporal estimation of the daily cases of COVID-19 in worldwide using random forest machine learning algorithm // *Chaos, Solitons and Fractals*. – 2020. – Vol. 140. – P. 110210. DOI: 10.1016/j.chaos.2020.110210

9. Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China / J.S. Jia, X. Lu, Y. Yuan, G. Xu, J. Jia, N.A. Christakis // *Nature*. – 2020. – Vol. 582. – P. 389–394.

10. Spatio-temporal modeling of the COVID-19 epidemic / V.L. Sokolovsky, G. B. Furman, D. A. Polyanskaya, E.G. Furman // *Health risk analysis*. – 2021. – No. 1. – P. 23–37. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.03

11. Gerasimenko P.V. Modeling and forecasting indicators of the dynamics of the disease of residents of the regions with coronavirus COVID-19 / P. V. Gerasimenko // *Transport systems and technologies*. – 2020. – V. 6. – No. 4. – P. 88–97. doi:10.17816/transsyst20206488-97

12. Verteshev S. M., Gerasimenko P. V., Lekhin S. N. The role of mathematics and informatics in the training of engineers for innovation // *Prospects for the development of higher education: materials of the X International scientific and methodological conference*. – Grodno: GSAU, 2017 - S. 223-226.

13. Gerasimenko P. V., Khodakovsky V. A. Introduction to econometrics. Tutorial. – St. Petersburg: PGUPS, 2005. – P. 60.

14. Coronavirus (COVID-19) spread statistics. Online service <https://coronavirus-tracking.ru/>. (date of access: 20.08.2022)

Информация об авторе

Герасименко Петр Васильевич – д. т. н., профессор, профессор кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве», ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» <https://orcid.org/0000-0002-7546-661X>.

Сфера научных интересов охватывает математику, механику упругих систем, применение математических методов в экономике, эконометрику, учебный процесс в школе и вузе.

Information about the author

Petr V. Gerasimenko – Dr.Sci. (Technical Sciences), Full Professor, Professor of the Economics and Management in Construction Department, "Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University", <https://orcid.org/0000-0002-7546-661X>.

His scientific interests cover mathematics, mechanics of elastic systems, application of mathematical methods in economics, econometrics, and the scientific process in schools and higher learning institutions.

Для корреспонденции:

Герасименко Петр Васильевич

Correspondence to:

Petr V. Gerasimenko

pv39@mail.ru